

GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES EM SEDIMENTOS DE BARRAGENS DOMINICANAS: ANÁLISE DA SUA PROVENIÊNCIA

JOANA ARAÚJO

Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal,
joanaaraujo93@gmail.com

PEDRO NOGUEIRA

Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal, pnogas@gmail.com

RITA FONSECA

Departamento de Geociências, AmbiTerra, Universidade de Évora, Évora, Portugal,
rfonseca@uevora.pt

CATARINA PINHO

Departamento de Geociências, AmbiTerra, Universidade de Évora, Évora, Portugal,
c_pinho@uevora.pt

ALEXANDRE ARAÚJO

Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal, araujo@uevora.pt

The climatic conditions of Dominican Republic are conducive to the existence of high erosion rates, which may represent high sedimentation rates, that can make the dams silted. It is intended to do a geochemical characterization of the dam's sediments, in order to study the sedimentary processes of the drainage basins. Through the analysis of the sediments of the bottom of two dam reservoirs (Tavera and Sabana Yegua) and the soils from the drainage basins, we intend to make a comparative geochemical analysis to identify the main sources of the sedimentary material of each dam. This study corresponds to a preliminary approach, which consists of the analysis of major elements by ICP-OES, in an attempt of identifying the sediments provenance.

1 Introdução

Este trabalho está a ser desenvolvido no âmbito do projecto “Aproveitamento dos sedimentos das barragens como nutrientes para a fertilização de solos agrícolas na República Dominicana”, resultante de uma parceria entre a Universidade de Évora e o INDRHI (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos da República Dominicana). Este projecto, ainda em fase de desenvolvimento, pretende abordar o problema da sedimentação excessiva e deterioração da qualidade da água das albufeiras da Republica Dominicana, com conversão dos sedimentos num recurso natural renovável. Centrando-se no estudo de duas barragens, Tavera e Sabana-Yegua, tem como principal objectivo a caracterização sedimentar e geoquímica, e a avaliação da extracção dos sedimentos e seu uso como fertilizante alternativo de solos agrícolas. De forma a melhor compreender esta sedimentação, este estudo tem como objectivo a caracterização geoquímica dos elementos maiores dos sedimentos de fundo destas barragens e uma avaliação da sua proveniência, através de um estudo comparativo com os solos das respectivas bacias de drenagem.

As condições climáticas da República Dominicana são propícias à ocorrência de elevadas taxas erosivas devido a factores tais como, a ocorrência de furacões que afectam

anualmente a ilha, os quais, associados a elevados declives das bacias de drenagem, e em clima tropical húmido, conduzem a elevadas taxas de erosão. Como consequência do excesso de erosão, há uma elevada sedimentação nas albufeiras, levando a uma diminuição da produção de energia eléctrica e do potencial de armazenamento de água. Pretende-se deste modo determinar qual a real influência de cada sub-bacia de drenagem, no processo de sedimentação das barragens em causa. A análise dos elementos maiores foi feita recorrendo a espectrometria de indução de plasma (ICP-OES). Realizou-se por isso um estudo comparativo entre solos e sedimentos, com recurso a correlações lineares, relativamente aos seus teores em elementos maiores e fracções granulométricas. Num futuro próximo serão realizadas análises para estudo dos elementos menores e em traço, incluindo os elementos terras raras, em sedimentos, solos e rochas das bacias de drenagem, incluindo a análise petrográfica das rochas.

2 Enquadramento Geográfico e Geológico

A República Dominicana pertence ao Arquipélago das Antilhas no Caribe, localizando-se na Isla Hispaniola, fazendo fronteira com o Haiti. Sabana Yegua e Tavera encontram-se em regiões distintas da ilha, sob condições climáticas diferentes. Tavera situa-se a Norte do sistema montanhoso central da ilha, numa região acidentada e com maior pluviosidade média anual, e Sabana Yegua, a Sul, numa das regiões mais quentes e secas do país.

A bacia de drenagem de Sabana Yegua é caracterizada pela ocorrência de rochas vulcano-sedimentares de origem em arco-ilha, tonalitos, arenitos, conglomerados e rochas vulcânicas intermédias. No caso da bacia de drenagem de Tavera, esta é caracterizada pela predominância de tonalitos, rochas magmáticas e vulcano-sedimentares originadas em arco-ilha. Embora com idênticas litologias enquadrantes, a principal diferença entre a geologia das duas bacias é o facto de toda a área de Sabana Yegua e uma grande parte dos seus afluentes, se encaixarem em formações sedimentares, detríticas e carbonatadas.

3 Metodologias

3.1 Amostragem de Solos e Sedimentos

A amostragem dos sedimentos realizou-se em dois períodos sazonais, numa rede de estações que abrange toda a extensão dos lagos, com diferentes profundidades e em zonas com condições representativas das distintas fontes de alimentação e das diferentes condições hidrodinâmicas. O objectivo desta metodologia de amostragem é a obtenção da máxima informação relativa à distribuição dos sedimentos em toda a área lacustre. A amostragem superficial dos sedimentos foi realizada por dragagem, recorrendo a uma draga do tipo Shipeck modificada, permitindo a colheita de sedimentos com uma espessura máxima de 15 cm. A amostragem de solos foi realizada num único período sazonal, numa rede de pontos de amostragem que foi dividida em diversos sectores, de acordo com a litologia predominante e a topografia. A amostragem foi realizada recorrendo a um trado manual, permitindo a amostragem de uma espessura de solo até 20cm (Simpson et al, 2005).

3.2 Métodos Analíticos

O estudo da química total das amostras de solos e sedimentos permite o conhecimento dos elementos nas suas formas totais, isto é, os elementos que fazem parte da estrutura dos minerais silicatados, os elementos associados a óxidos, sulfuretos, adsorvidos nos complexos de troca das partículas coloidais, dissolvidos na fase aquosa e complexados com compostos orgânicos. Os teores dos elementos maiores (Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, Mn e P) foram determinados através de espectrometria por indução de plasma (ICP-OES, Perken-Elmer, Optima 8300). Para tal, foi necessário que a totalidade das amostras, previamente pulverizadas em moinho de argolas de ágata, passasse para a fase solúvel através de fusão. Esta obteve-se com introdução das amostras homogêneas com fundente (Spectroflux) em cadinhos de grafite pura, fundidas em mufla a 1000^oC. Após a fusão formou-se uma pérola, posteriormente dissolvida em solução nítrica. As amostras foram filtradas antes da análise em ICP-OES (Xu, 2012). A análise textural dos solos e sedimentos permitiu a determinação das 3 principais frações granulométricas: arenosa, limosa ou siltosa (o limo é uma classe dimensional dos solos e o silte dos sedimentos) e argilosa. A separação destas 3 classes foi realizada recorrendo-se à crivagem para a separação da classe das areias, e através da pipetagem para a separação das classes de silte ou limo e argilas. Foi ainda realizada a análise de carbono orgânico, recorrendo-se a um analisador elementar da marca *Elementar Vario Micro Cube* (Simpson et. al, 2005).

4 Resultados e Discussão

4.1 Análise Textural

A distribuição granulométrica é uma característica de extrema importância, uma vez que determina a superfície específica de cada partícula, por unidade de volume ou massa do solo ou sedimento. Inúmeros processos físicos e químicos poderão ocorrer na superfície específica das partículas, como por exemplo, as trocas catiónicas que costumam ocorrer nas frações argilosas. A composição mineralógica está por isso, estritamente relacionada com a dimensão das partículas, influenciando deste modo a composição química e mineralógica dos solos e dos sedimentos (Håkanson & Jansson, 1983).

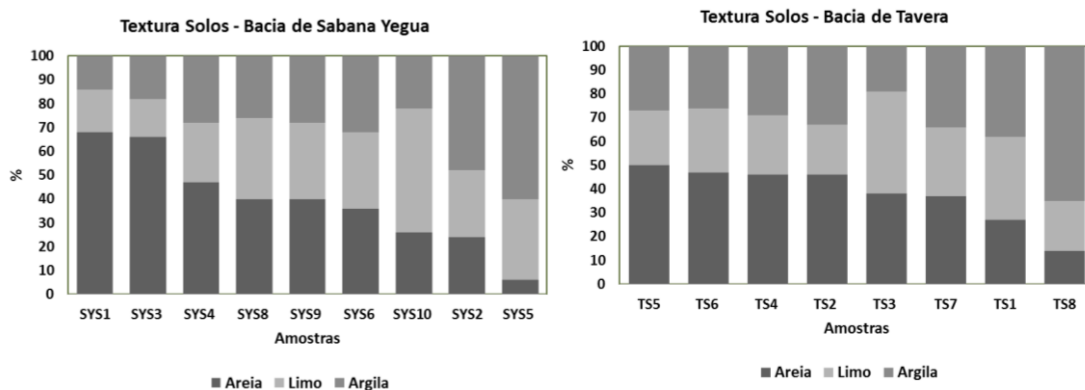


Gráfico 1. Análise textural dos solos da bacia de drenagem de Sabana Yegua.

Gráfico 2. Análise textural dos solos da bacia de drenagem de Tavera.

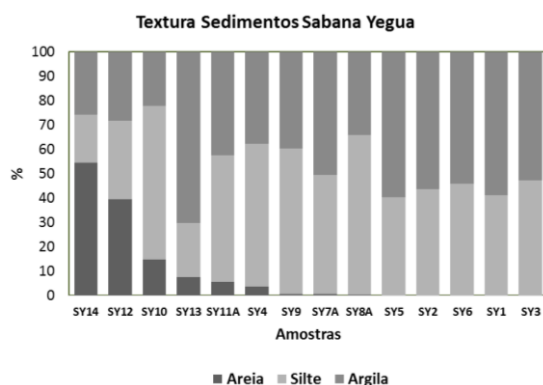


Gráfico 3. Análise textural dos sedimentos do fundo da barragem de Sabana Yegua.

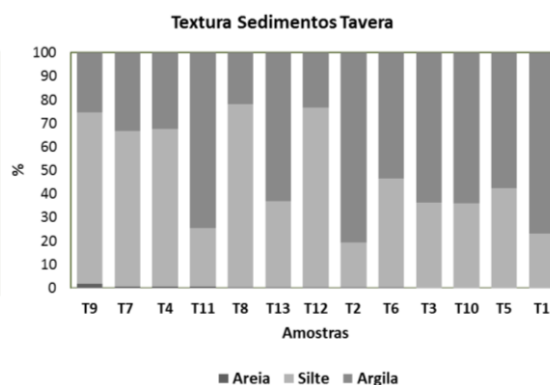


Gráfico 4. Análise textural dos sedimentos do fundo da barragem de Tavera.

Analisando os gráficos 1 e 2, referentes aos solos das bacias de drenagem de Sabana Yegua e de Tavera, é possível verificar que a bacia de Tavera apresenta uma granulometria mais homogênea relativamente à de Sabana Yegua. Tal facto está de acordo com a litologia aflorante mais uniforme, maioritariamente constituída por rochas ígneas. Contudo, no caso da amostra TS8, identifica-se um menor teor de areia relativamente às restantes amostras. Recorrendo ao mapa de amostragem de solos (Figura 1), é possível observar que o ponto de amostragem TS8 se localiza numa zona bastante acidentada, a montante da barragem de Tavera, constituída por rochas tonalíticas de fina granulometria.

Os solos de Sabana Yegua registam uma maior heterogeneidade granulométrica, apresentando valores de partículas grosseiras e finas bastante variáveis. Novamente estes dados reflectem uma maior heterogeneidade litológica da bacia. Correlacionando os dados texturais com os pontos de amostragem (Figura 2) verifica-se que, regra geral, a distribuição dos elementos grosseiros vai diminuindo de montante para jusante o que está de acordo com a calibração natural dos materiais em zonas de topografia acidentada. As amostras SYS8 e SYS9 foram colhidas na mesma região de drenagem, muito perto do Rio Las Cuevas, estando sob uma zona de natureza detrítica e carbonatada e apresentando valores muito semelhantes na distribuição granulométrica. Este factor pode ser indicador de uma zona com idêntica topografia e com solos desenvolvidos a partir de rochas-mãe de natureza semelhante. As amostras SYS1 e SYS3 são as que têm um maior teor em partículas grosseiras. Ambas se localizam na mesma zona de drenagem, perto das margens do Rio Yaque del Sur, no entanto SYS1 numa zona de maior altitude (774 m) sob influência de rochas tonalíticas e numa região mais próxima da vertente Sul da Cordilheira Central estando, portanto, sob maior influência dos processos erosivos das zonas de maior altitude desta cadeia montanhosa. O solo SYS3 amostrado a uma cota mais baixa (230 m) deve o seu carácter mais grosseiro à natureza conglomerática e arenítica das rochas aflorantes. É de notar que a amostra SYS2, que foi colhida na mesma margem do rio, tem uma textura mais fina, com baixa percentagem de fracção arenosa, pelo facto de se situar numa zona de fronteira entre as rochas detríticas e as de natureza vulcano-sedimentar.

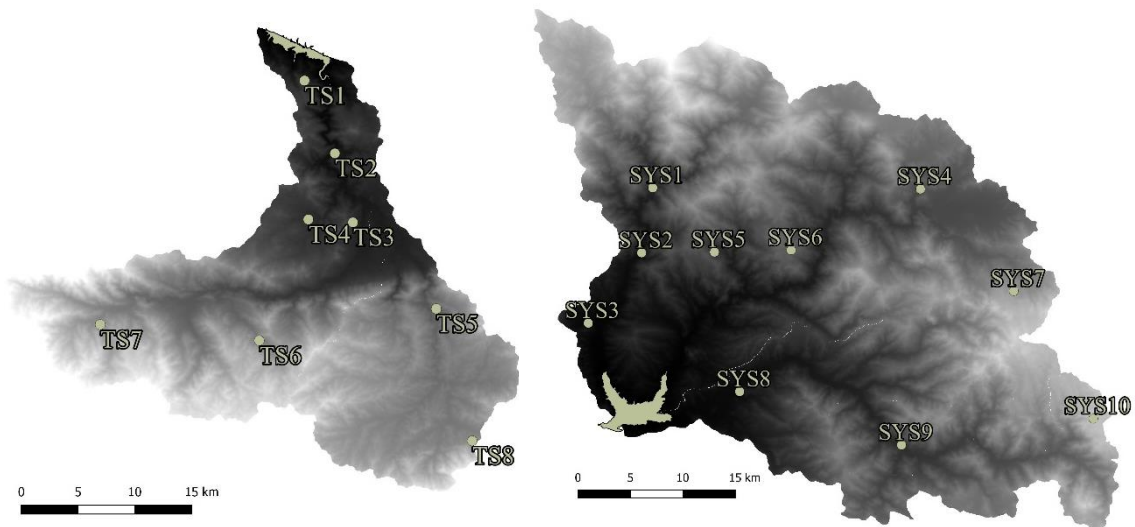


Figura 1. Distribuição dos pontos de amostragem de solos na bacia de drenagem de Tavera.

Figura 2. Distribuição dos pontos de amostragem de solos na bacia de drenagem de Sabana Yegua.

Com base na análise textural comparativa dos solos e dos sedimentos, é possível identificar uma predominância das classes mais finas nos sedimentos, o que aponta para a ocorrência de uma erosão selectiva de partículas mais finas e menos densas dos solos, associado a um processo de calibração natural ocorrido durante o transporte. Esta textura mais fina vai condicionar toda a química dos sedimentos do fundo das barragens (Gráficos 1, 2, 3 e 4). Comparando as texturas dos sedimentos das duas barragens (Gráficos 3 e 4), é possível verificar que Sabana Yegua apresenta um enriquecimento na classe textural das areias, relativamente a Tavera. Recorrendo ao mapa de amostragem de Sabana Yegua (Figura 3), é possível notar que as amostras cuja distribuição granulométrica apresenta teores de areia superiores a 5% encontram-se em locais de entrada das linhas de água desta barragem. A amostra SY14, cujo teor em areia é o mais alto, corresponde à desembocadura do Rio Las Cuevas, que drena o sector detrítico e carbonatado da bacia de drenagem desta albufeira. A única amostra que se encontra afastada da entrada destas linhas de água e que apresenta um teor em areia maior relativamente às restantes amostras, é a amostra SY4. Esta amostra foi recolhida na zona marginal da albufeira, devendo-se o maior teor em elementos grosseiros provavelmente à erosão das margens do lago. É de salientar que este sector se encontra periodicamente emerso. É ainda observável um gradiente negativo na granulometria, desde os locais de alimentação dos rios, até ao paredão da barragem, como seria expectável. As amostras SY11A e SY8A são dois casos, onde a jusante dos seus locais de amostragem se encontram pontos cuja granulometria é mais grosseira, nomeadamente SY10 e SY13, respectivamente. Contudo, estes locais de amostragem encontram-se em zonas onde o caudal dos rios é intermitente, pelo que existe uma maior deposição de materiais que são transportados em suspensão, passando o caudal dos rios, em períodos de seca, ao lado destes locais.

Tavera (Gráfico 4) regista valores muito homogéneos na sua distribuição granulométrica, tendo teores de partículas grosseiras inferiores a 2%. A amostra T9 foi a que registou maior teor em elementos grosseiros (1,67%), localizando-se numa zona marginal. Isto pode dever-se à influência de uma pequena linha de água que drena junto ao ponto de amostragem, à erosão local da margem, ou inclusivamente, à possibilidade de ocorrência de remobilização de solo a montante devido a actividades agrícolas. Contudo, o facto de Tavera apresentar teores em elementos finos consideravelmente altos e homogéneos poderá corroborar a hipótese da ocorrência de um elevado hidrodinamismo no interior desta barragem, facilitado também pela sua fisionomia estreita e alongada.



Figura 3. Distribuição dos pontos de amostragem dos sedimentos ao longo da albufeira de Sabana Yegua.

Figura 4. Distribuição dos pontos de amostragem dos sedimentos ao longo da albufeira de Tavera.

4.2 *Análise geoquímica: Elementos Maiores*

Através da comparação dos dados geoquímicos dos elementos maiores nos sedimentos e nos solos de Tavera e de Sabana Yegua (Gráficos 5, 6, 7 e 8) é visível a ocorrência de uma maior homogeneidade nos teores destes elementos nos sedimentos das albufeiras. Este facto sugere assim que ocorre uma sedimentação homogénea e uniforme ao longo das albufeiras, aliado ao facto de os elementos mais móveis (Na, K e Mg) apresentarem uma maior facilidade de distribuição, reflectindo-se na sua grande homogeneidade nos sedimentos. Os solos apresentam uma elevada heterogeneidade, possivelmente pelo facto destes terem sido amostrados em diversos sectores, sendo eles os mais representativos dos diferentes litótipos das bacias.

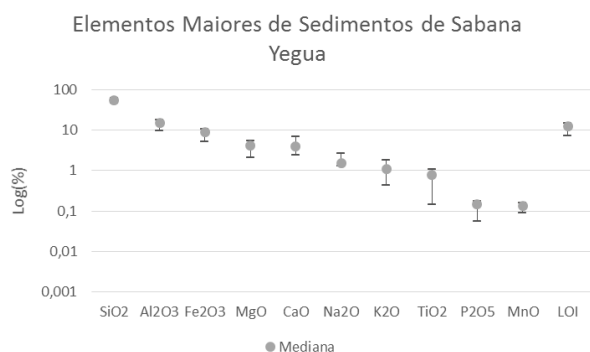


Gráfico 5. Distribuição dos teores máximos, mínimos e medianos dos elementos maiores nos sedimentos de Sabana Yegua.

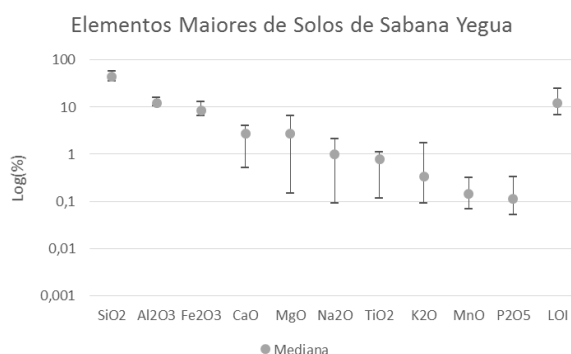


Gráfico 6. Distribuição dos teores máximos, mínimos e medianos dos elementos maiores nos solos de Sabana Yegua.

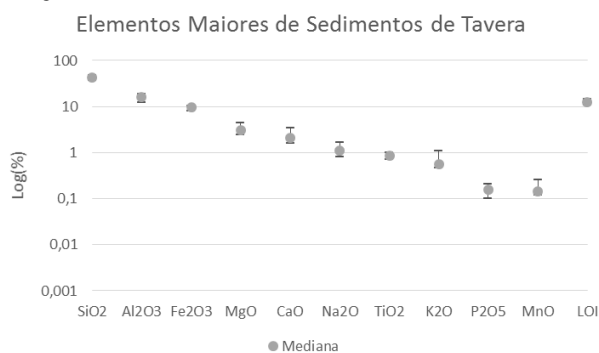


Gráfico 7. Distribuição dos teores máximos, mínimos e medianos dos elementos maiores nos sedimentos de Tavera.

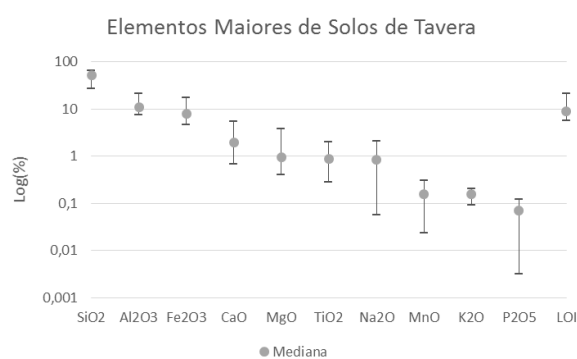


Gráfico 8. Distribuição dos teores máximos, mínimos e medianos dos elementos maiores nos solos de Tavera.

Quer em Sabana Yegua, quer em Tavera, existem manifestações evidentes que contestam a mobilidade dos elementos geoquimicamente mais móveis, assim como a sua associação preferencial a partículas mais finas, como é o caso do K em Sabana Yegua, onde surge nos sedimentos com o triplo do teor verificado nos solos (Gráficos 5 e 6). Este elemento tem associação preferencial a partículas mais finas, entrando geralmente na constituição das ilites. Em Tavera, o Mg e o K aumentaram também para cerca do triplo nos sedimentos em relação ao seu teor nos solos (Gráficos 7 e 8), mais uma vez atestando a mobilidade geoquímica destes elementos. Os valores dos elementos maiores nos sedimentos de ambas as albufeiras são muito semelhantes, revelando deste modo uma proveniência a partir de um background geoquímico semelhante nas bacias de drenagem. Embora a litologia das bacias seja muito idêntica, notam-se algumas diferenças entre os sedimentos das duas albufeiras relativamente a alguns elementos maiores (Tabela 1).

Tabela 1: Comparação dos valores das medianas dos elementos maiores dos sedimentos de Tavera e de Sabana Yegua.

Sabana Yegua	(medianas)	Tavera
53,85%	← SiO ₂ →	43,50%
4,25%	← MgO →	3,12%
3,94%	← CaO →	2,12%
1,52%	← Na ₂ O →	1,13%
1,09%	← K ₂ O →	0,56%
14,82%	→ Al ₂ O ₃ →	16,00%
8,76%	→ Fe ₂ O ₃ →	9,51%
0,80%	→ TiO ₂ →	0,85%
0,13%	→ MnO →	0,14%
0,15%	→ P ₂ O ₅ →	0,15%

Com base na análise das tabelas 1 e 2, é possível observar uma maior influência de rochas detríticas e carbonatadas (arenitos, conglomerados, margas arenosas) para a barragem de Sabana Yegua. Em Tavera, nota-se uma maior influência das rochas básicas e ultramáficas, associadas às formações vulcano-sedimentares, como se pode verificar através das cartas geológicas destas bacias. O maior enriquecimento dos sedimentos de Tavera em Fe, Mn, Al e argila, justifica a maiores correlações lineares encontradas entre os seus teores. Por outro lado, os maiores teores em SiO₂ e areia em Sabana Yegua justificam a maior correlação encontrada entre estes 2 parâmetros, sendo não significativa em Tavera. A composição dos sedimentos relativamente aos elementos maiores reflecte associações mineralógicas de distintas fácies deposicionais. A correlação positiva de SiO₂ e areia, sobretudo em Sabana Yegua sugere que a fracção mais grosseira dos sedimentos seja predominantemente composta por quartzo e feldspatos. A correlação linear positiva entre Al₂O₃ e argila, sendo superior em Tavera, sugere que a fracção fina seja rica em minerais argilosos, possivelmente de natureza caulinitica (Cronan, 2009). Esta ilação está de acordo com os baixos valores de correlação linear entre Fe₂O₃ e a argila e a inexistência de correlação entre %Argila e %C_{org}, o que leva a crer a ausência ou a presença vestigial de minerais argilosos com maior capacidade de adsorção e fixação de matéria orgânica, como é o caso dos minerais argilosos ricos em Fe (clorite e esmectite). Esta mineralogia será identificada posteriormente através da análise por difracção de raios-X.

Tabela 2: Comparação dos valores das granulometrias dos sedimentos de Tavera e de Sabana Yegua.

Sabana Yegua	(medianas)	Tavera
0,636%	← Areia →	0,332%
46,573%	← Silte →	42,534%
46,397%	→ Argila →	57,418%

Tavera apresenta uma maior homogeneidade na distribuição dos elementos, como se pode verificar no exemplo abaixo (Gráficos 9), possivelmente por se localizar numa região com maior declive e precipitação, o que incrementa a ocorrência de lixiviação e mistura de elementos em toda a albufeira. A sua fisiografia é estreita e alongada o que facilita a distribuição mais homogénea dos materiais transportados para o seu interior, além disso promove um maior hidrodinamismo da albufeira. A actuação das correntes internas da

barragem leva a que possa ocorrer um remeximento e mistura de todos os componentes particulados no fundo da barragem.

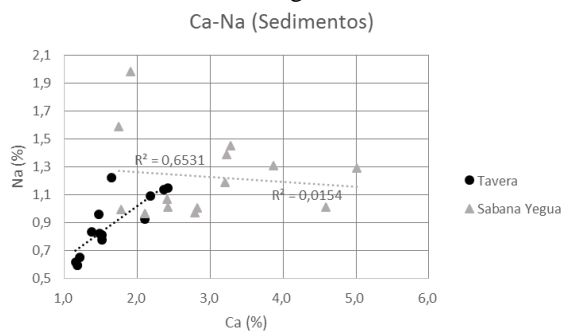


Gráfico 9. Distribuição dos elementos maiores nos sedimentos de Tavera e Sabana Yegua

Nos sedimentos de Tavera, relativamente aos solos da bacia, verifica-se um aumento nítido dos elementos mais móveis (Tabela 3), ou preferencialmente associados a partículas de menores dimensões (Ca, Mg, Na e K). Verifica-se igualmente um aumento de Al nos sedimentos, o que poderá revelar estar preferencialmente associado à fracção argilosa. Os elementos mais imóveis registam valores muito idênticos entre solos e sedimentos. Considerando que os teores dos elementos nos sedimentos e a sua relação com os valores médios dos solos têm a ver com a sua mobilidade geoquímica, estes dados apontam para um ambiente de forte meteorização química. Os sedimentos recebem e concentram, uma grande parte dos elementos químicos lixiviados das bacias, com particular destaque para os elementos com elevada mobilidade: K, Na, Mg, e Ca. O Al e o Fe, embora sejam elementos com baixa solubilidade, deverão estar nos solos preferencialmente associados a partículas de menor dimensão (Cronan, 2009; Giblin, 2009) ($R^2 \text{ Fe}_2\text{O}_3/\text{Argila}=0,694$ e $R^2 \text{ Al}_2\text{O}_3/\text{Argila}=0,9352$ para os solos de Tavera). Estas são as partículas mais facilmente transportadas para as albufeiras, sendo por isso o seu transporte feito sob a forma particulada. A bacia de drenagem de Tavera encontra-se sob uma maior influência de rochas vulcano-sedimentares. As elevadas correlações entre TiO_2 e Fe_2O_3 , quer nos solos ($R^2=0,910$), quer nos sedimentos ($R^2=0,691$) indicam que as rochas que estão na origem do Fe poderão também constituir fonte de Ti. A elevada correlação verifica-se igualmente entre o TiO_2 e o MgO, porém, apenas nos sedimentos. Em Tavera, apenas se verifica uma correlação linear significativa entre Fe_2O_3 e Al_2O_3 nos solos ($R^2=0,633$). A correlação entre Fe e Mg nos solos e nos sedimentos apresenta valores muito baixos.

No caso de Sabana Yegua, as correlações positivas entre os teores de TiO_2 e os óxidos de Fe e Mg apenas foram verificadas nos sedimentos. Em qualquer um dos sistemas, nos solos o TiO_2 encontra-se preferencialmente associado a SiO_2 . Contrariamente a Tavera, Sabana Yegua regista uma importante correlação entre Fe e Mg ($R^2=0,475$) e Fe e Al ($R^2=0,7746$) nos sedimentos, sugerindo uma importante influência de sedimentação de aluminossilicatos de Fe e Mg nesta albufeira e uma origem idêntica para estes três elementos (sugerindo a mesma litologia como proveniência) (Giblin, 2009). Tal como em Tavera, os elementos mais móveis (Ca, K, Mg, Na), têm maior incremento nos sedimentos. Os teores de Fe, com valores muito idênticos em solos e sedimentos, são mais baixos relativamente a Tavera, devido à maior influência das rochas sedimentares detríticas na

sedimentação da albufeira. Contrariamente a Tavera, os teores de SiO₂ são mais elevados nos sedimentos. Este facto deve-se ao facto de a maior parte dos solos analisados ter maior representação no sector de rochas vulcano-sedimentares (SYS 2, SYS 5, SYS 6, SYS 7), onde os teores de SiO₂ raramente ultrapassam os 50%. Além disso, a sedimentação da albufeira tem uma maior influência das rochas detríticas (arenitos, margas arenosas, conglomerados), cujos solos originados a partir da sua meteorização têm teores de SiO₂ superiores (>50%).

Tabela 3. Teores de elementos maiores em Tavera e Sabana Yegua, nos sedimentos e nos solos.

Tavera		(medianas)	Sabana Yegua	
Sedimentos	Solos		Sedimentos	Solos
43,50%	→ 52,56%	SiO ₂	53,85%	← 45,03%
16,00%	← 11,18%	Al ₂ O ₃	14,82%	← 12,07%
9,51%	← 8,00%	Fe ₂ O ₃	8,76%	← 8,37%
3,12%	← 0,97%	MgO	4,25%	← 2,70%
2,11%	← 1,99%	CaO	3,93%	← 2,78%
1,13%	← 0,85%	Na ₂ O	1,52%	← 1,01%
0,85%	← 0,88%	TiO ₂	0,80%	← 0,77%
0,56%	← 0,16%	K ₂ O	1,09%	← 0,34%
0,15%	← 0,07%	P ₂ O ₅	0,15%	← 0,11%
0,14%	→ 0,16%	MnO	0,13%	→ 0,14%

5 Considerações Finais

Através das razões e dos gráficos de correlação linear entre os elementos maiores não é possível definir as principais fontes para cada elemento ou grupo de elementos. O estudo de proveniência apenas deverá ser possível através da análise das rochas-mãe e de elementos do grupo das terras raras (a realizar brevemente). A partir da análise dos elementos maiores dos solos e sedimentos apenas se será possível concluir que: (1) existe uma deposição preferencial nas albufeiras, das partículas mais finas dos solos, enriquecidas em Al, Fe e Mg; (2) em Sabana Yegua existe uma forte influência dos depósitos detríticos e rochas carbonatadas, o que contribui para uma sedimentação mais rica em Ca e Mg; (3) o hidrodinamismo elevado no interior das albufeiras, em especial em Tavera, pode levar a uma elevada homogeneidade na distribuição dos elementos químicos.

Bibliografia

1. Cronan, C.S. 2009. Major cations in freshwaters: Ca, Mg, Na, K, and Al. In Gene E. Likens (ed) Encyclopedia of Inland Waters, pp. 360-377, Oxford – Elsevier Publishers, NY.
2. Giblin, A.E. (2009) Iron and Manganese. In Gene E. Likens (ed) Encyclopedia of Inland Waters, pp. 368-377, Oxford – Elsevier Publishers, NY.
3. Håkanson, L., Jansson, M. (1983). Principles of Lake Sedimentology. Springer (Berlim).
4. Simpon, S. L., Barley, G. E., Chariton, A. A., Stauber, J. L., King, C. K., Chapman, J. C., Hyne, R. V., Gale, S. A., Roach, A. C., Maher, W. A. (2005). Handbook for Sediment Quality Assessment (CSIRO: Bangor, NSW)
5. Xu, G., Hannah, J.L., Bingen, B., Georgiev, S., Stein, H.J. (2012). Digestion methods for trace element measurements in shales: Paleoredox proxies examined. Chemical Geology, 324 – 325, pp. 132 – 147.